



**REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA
DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL
SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS
DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE
CONCESIÓN NO. 163 DE 2019**

**ENTREGABLE 8
ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA**

Documento No. EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

Elaborado por:



ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES (Para uso de la Asesoría)

Versión	Fecha	Sección modificada	Observaciones
A	09-05-2022	-	Versión inicial
B	05-07-2022	-	Actualizado según comentarios Interventoría y EMB
C	21-07-2022	-	Actualizado según comentarios Interventoría y EMB
D	12-08-2022	-	Versión sin ajustes
0	01-09-2022	-	Versión aprobada

ÍNDICE DE MODIFICACIONES (Para uso de FDN)

Versión	Fecha	Sección modificada	Observaciones

REVISIÓN Y APROBACIÓN (Para uso de la Asesoría)

Preparó:  C. Ziebold 01-09-2022	Revisó:  A. Alves 01-09-2022	Revisó:  F. Sanchez C. 01-09-2022	Aprobó:  M. Cermesoni 01-09-2022
Especialista en alimentación eléctrica	VoBo. Coordinación SYS	VoBo. Coordinador Técnico	VoBo. Director Técnico

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

REVISIÓN Y APROBACIÓN (Para uso de FDN)

Juan Camilo Pantoja Vela
01-09-2022

Gerente de
Estructuración

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	7
1.1.	MARCO CONTRACTUAL	8
1.2.	CONTEXTO DE LA PLMB Y DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1.....	9
1.3.	MARCO LEGAL.....	11
2.	GENERALIDADES	12
2.1.	ALCANCE.....	12
2.2.	NORMATIVIDAD TÉCNICA Y REFERENCIAS	12
3.	CRITERIOS DE DISEÑO.....	13
3.1.	CRITERIOS DE DISEÑO DE ALIMENTACIÓN PRIMARIA ALTA TENSIÓN	13
3.2.	CRITERIOS DE DISEÑO DE DISTRIBUCIÓN MEDIA TENSIÓN	13
3.3.	CRITERIOS DE DISEÑO DE ALIMENTACIÓN TRACCIÓN.....	15
3.3.1.	Zonas y Secciones de Tracción.....	15
3.4.	CRITERIOS DE DISEÑO DE ALIMENTACIÓN ALUMBRADO Y FUERZA ESTACIONES.....	16
4.	ANTECEDENTES ETAPA 1 PLMB	17
4.1.	SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	17
4.1.1.	Alta Tensión (AT).....	17
4.1.2.	Demandas de Potencia	18
4.1.2.1.	Simulaciones de potencias de tracción y estimación auxiliares Baja Tensión (BT)	18
4.1.2.2.	Capacidad de las SER.....	18
4.1.3.	Distribución Media Tensión (MT).....	19
4.1.4.	Tracción Línea y Talleres	20
4.1.5.	Baja Tensión.....	20
4.1.5.1.	Descripción general de BT.....	20
5.	ANTECEDENTES ETAPA 2 PLMB: EXTENSIÓN HASTA CALLE 100	21
6.	ESTUDIOS DE ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	23
6.1.	ESTUDIO CAPACIDAD Y CALIDAD DE ENERGÍA RED AT/MT PLMB	23
6.1.1.	Supuestos de la modelación.....	23
6.1.2.	Escenarios de Regulación de Tensión y Flujos de Potencia 60 Hz	24
6.1.2.1.	Resumen de Resultados.....	24
6.1.2.2.	Análisis de Resultados Flujos de Carga	26

6.1.2.3.	Escenarios Distorsi3n Arm3nica	26
6.1.3.	Resumen de Resultados Flujo de Carga Arm3nicas	28
6.1.4.	Análisis de Resultados Flujos de Carga Arm3nicas	29
6.1.5.	Conclusiones Flujos de Carga Arm3nicas	29
6.2.	ESTUDIO DE CAPACIDAD Y UBICACI3N 3PTIMA DE LAS SET	30
6.2.1.	Datos de entrada para la simulaci3n de tracci3n.....	30
6.2.2.	Escenarios de Simulaci3n de Tracci3n.....	30
6.2.3.	Resultados de la Simulaci3n de tracci3n	31
6.2.3.1.	Escenario N1 Resultados de la Simulaci3n de Tracci3n	32
6.2.3.2.	Escenario N2 Resultados de la Simulaci3n de tracci3n.....	35
6.2.3.3.	Escenario N3 Resultados de la Simulaci3n de tracci3n.....	38
6.2.4.	Análisis de los resultados y conclusiones simulaci3n de tracci3n	41
6.2.4.1.	Análisis de Potencias.....	41
6.2.4.2.	Análisis de Tensi3n de Tercer Riel	41
6.2.4.3.	Análisis de Tensi3n Riel -Tierra	41
6.2.4.4.	Conclusiones Estudio de Tracci3n.....	42
7.	RE SUMEN DEL ESTUDIO DEL SISTEMA DE ALIMENTACI3N ELÉCTRICA	43
7.1.	CONCLUSIONES SISTEMA AT/MT	43
7.2.	CONCLUSIONES SISTEMA DE TRACCI3N	43
7.3.	REQUERIMIENTOS EN LA EXTENSI3N A SER INCORPORADOS	43
7.4.	RESUMEN REQUERIMIENTOS DE SISTEMA ELÉCTRICO	45
	ANEXO 1: APÉNDICE TÉCNICO 8 - SECCI3N 2 - SISTEMAS DE ALIMENTACI3N DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	46
	ANEXO 2: FLUJOS DE CARGA	46
	ANEXO 3: FLUJOS DE ARM3NICAS	46

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Documentos de Referencias.....	12
Tabla 2 Potencias Tracción y Auxiliares BT.....	18
Tabla 3 Distribución MT (SER -CTE).....	19
Tabla 4 Tipos y ubicaciones de las SET (Etapa 1 y 3).....	20
Tabla 5 Escenario N°1 Todas las SER en servicio.....	24
Tabla 6 Escenario N°2 SER Chicalá en servicio.....	25
Tabla 7 Escenario N°3 SER Calle 67 en servicio.....	25
Tabla 8 Escenario N°3.1 SER Castellana en servicio.....	25
Tabla 9 Escenarios Flujos de Potencia de Armónica.....	27
Tabla 10 Distorsión Total de Voltaje (THDv).....	28
Tabla 11 Distorsión Total de Corriente (THDi).....	28
Tabla 12 Escenarios de Simulación Tracción.....	31
Tabla 13 Escenario N°1 Potencias SET.....	32
Tabla 14 Escenario N°2 Potencias SET.....	35
Tabla 15 Escenario N°3 Potencias SET.....	38
Tabla 16 Requerimientos Sistema Eléctrico.....	45

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Trazado PLMB etapa 1 y ubicación de las SER.....	17
Ilustración 2 Trazado de PLMB con extensión.....	21
Ilustración 3 SET 9 y 10 Estación Terminal Calle 100.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráficos 1 Escenario N°1 Potencia efectiva.....	33
Gráficos 2 Escenario N°1 Tensión Tercer Riel vía 1 y vía 2.....	33
Gráficos 3 Escenario N°1 Tensión riel vía 1 y vía 2.....	34
Gráficos 4 Escenario N°2 Potencia Efectiva.....	36
Gráficos 5 Escenario N°2 Tensión Tercer Riel vía 1 y vía 2.....	36
Gráficos 6 Escenario N°2 Tensión riel vía 1 y vía 2.....	37
Gráficos 7 Escenario N°3 Potencia efectiva.....	39
Gráficos 8 Escenario N°3 Tensión Tercer Riel vía 1 y vía 2.....	39
Gráficos 9 Escenario N°3 Voltaje riel vía 1 y vía 2.....	40

1. INTRODUCCIÓN

El Contrato Interadministrativo No. 277 de 2021, tiene por objeto “Realizar la estructuración técnica y financiera de la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019”. En este sentido, se debe desarrollar la estructuración de las definiciones técnicas complementarias o modificatorias de los apéndices técnicos de la PLMB-Tramo 1, definidos por Empresa Metro de Bogotá para la licitación internacional que dio lugar a la celebración del Contrato de Concesión No. 163 de 2019, y que resulten necesarias para viabilizar la adición de la extensión hasta la calle 100 con Autopista Norte.

Es importante señalar que, dicha extensión hereda todas las especificaciones técnicas de la PLMB-Tramo 1 plasmadas en los apéndices técnicos del Contrato de Concesión No. 163 de 2019, excepto en aquellos/as infraestructuras, sistemas, subsistemas o elementos en los que explícitamente se deben establecer criterios de diseño distintos a aquellos ya definidos en el marco de la PLMB-Tramo 1. Por lo tanto, todas las infraestructuras, sistemas, subsistemas o elementos que no son modificados por el presente estudio de factibilidad, quedan regulados y definidos por los apéndices técnicos establecidos en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019.

En el caso específico de la especificación técnica **ET-10 Sistema de Alimentación Eléctrica**, aplica el **Apéndice Técnico 8 - Sección 2 - Sistemas de Alimentación de Energía Eléctrica** el cual se adjunta como anexo del presente documento.

Complementariamente, se señala que en los términos de referencia elaborados como parte de la estructuración integral de la PLMB que dieron como resultado la documentación y apéndices técnicos del Contrato de Concesión No. 163 de 2019, se requerían un conjunto de análisis de alternativas con miras a tomar elecciones técnicas o tecnológicas para la PLMB. Por su parte, los términos de referencia del Contrato Interadministrativo 277 de 2021, se apoyaron en los del Contrato de Concesión, con miras a guardar coherencia pero sin advertir que, en caso de volver a realizar dichos análisis y por tratarse de una extensión de línea, ya no se trataría de hacer una elección tecnológica sino de evaluar la modificación de una tecnología ya adoptada.

Lo anterior es particularmente relevante en el contexto de la estructuración técnica objeto del Contrato Interadministrativo 277 de 2021, que prevé la construcción, suministro, operación y mantenimiento de la adición de la extensión hasta la calle 100 con Autopista Norte del Contrato de Concesión No. 163 de 2019. Igualmente, en caso de variar las definiciones técnicas y tecnológicas del contrato antes citado, se estarían introduciendo cambios sustanciales en la PLMB lo que podría tener impactos importantes en el desarrollo actual de este proyecto.

1.1. MARCO CONTRACTUAL

La EMPRESA METRO DE BOGOTÁ (**en adelante EMB**) y la FINANCIERA DE DESARROLLO NACIONAL (**en adelante FDN**), suscribieron el Contrato Interadministrativo 277 de 2021 (**en adelante el Contrato Interadministrativo**) que inició el 25 de noviembre de 2021, para realizar la estructuración técnica y financiera de la extensión de la PLMB-TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019 (**en adelante EPLMB o el Proyecto**) en sus componentes técnicos y financiero.

En virtud de las obligaciones derivadas del Contrato Interadministrativo, el 07 de diciembre de 2021, FDN y la Unión Temporal Extensión Metro Línea 1, conformada por las empresas SYSTRA S.A. Sucursal Colombiana e INGETEC INGENIERÍA Y DISEÑO S.A.S., (**en adelante la Asesoría**), suscribieron el Contrato 85/2021 cuyo objeto es Acompañar a la FDN en las actividades de estructuración técnica de la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019 y aquellas establecidas en el Contrato Interadministrativo No. 277 de 2021. Dicho contrato inició con la suscripción del mismo y su duración se estableció hasta el 24 de septiembre de 2022.

Así mismo, el 07 de diciembre de 2021, FDN y SENER INGENIERÍA Y SISTEMAS COLOMBIA S.A.S., (**en adelante la interventoría**), suscribieron el Contrato 86/2021 cuyo objeto es la interventoría técnica, administrativa, legal y financiera a los estudios y diseños técnicos de factibilidad que hacen parte del Contrato de Consultoría cuyo objeto es “Asesorar a la FDN en la estructuración técnica de la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019 suscrito entre la EMB y Metro Línea 1 S.A.S. (el “Contrato de Concesión No. 163 de 2019”). Dicho contrato inició con la suscripción del mismo y su duración se estableció hasta el 24 de septiembre de 2022.

Los estudios de factibilidad del proyecto fueron elaborados en vigencia del Plan de Ordenamiento Territorial contenido en el Decreto 555 de 2021, el cual fue suspendido temporalmente por el Juzgado Quinto Administrativo Oral del Circuito Judicial de Bogotá el catorce (14) de junio de 2022, es decir, con posterioridad a la elaboración de estos diseños. Sin embargo, una vez analizado el Plan de Ordenamiento Territorial en vigencia que corresponde al contenido en el Decreto 190 de 2004, se corroboró que los estudios de factibilidad realizados no contravienen lo establecido en dicho Decreto ni los instrumentos de Planeación Urbana que puedan derivarse del mismo.

El presente documento corresponde al entregable No. 8 a cargo de FDN, el cual se integra a las obligaciones de la FDN derivadas del Contrato Interadministrativo 277 de 2021. Este informe es denominado “*Alimentación eléctrica*” y presenta el estudio de la adecuación del sistema de alimentación de energía eléctrica, incluyendo las subestaciones, la red de distribución de media tensión, los elementos de tracción y servicios auxiliares y el sistema de contacto de la extensión PLMB-Tramo 1.

El presente informe consta de los siguientes capítulos:

Capítulo 1: INTRODUCCION (este capítulo).

Capítulo 2: GENERALIDADES.

Capítulo 3: CRITERIOS DE DISEÑO.

Capítulo 4: ANTECEDENTES ETAPA 1 PLMB.

Capítulo 5: ANTECEDENTES ETAPA 2 PLMB: EXTENSIÓN HASTA CALLE 100.

Capítulo 6: ESTUDIOS DE ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Capítulo 7: RESUMEN DEL ESTUDIO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA.

Nota: Todas las tablas, figuras y fotografías incorporadas en el presente documento que no tienen indicada la fuente de donde provienen fueron generadas por las empresas integrantes de la Asesoría.

1.2. CONTEXTO DE LA PLMB Y DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1

El 26 de diciembre de 2014, el IDU y LA FDN suscribieron el Convenio Interadministrativo N.º 1880 de 2014, el cual tiene por objeto “Aunar esfuerzos para el desarrollo de las actividades relacionadas con la estructuración integral del proyecto “Primera Línea del Metro de Bogotá” en dos fases, a saber: Fase 1, denominada “Diseño de la transacción” y Fase 2, denominada “Estructuración integral”. Mediante documento de cesión de fecha 10 de marzo de 2017, el IDU cedió a la Empresa Metro de Bogotá S.A. (EMB) su posición contractual en el Convenio Interadministrativo N.º 1880 de 2014.

En la ejecución del Convenio Interadministrativo N.º 1880 de 2014, el 03 de febrero de 2017, la FDN celebró el contrato 002 de 2017 con el Consorcio Metro Bog integrado por la sociedad colombiana INGENIEROS CONSULTORES CIVILES Y ELÉCTRICOS S.A. INGETEC S.A., y por la sociedad francesa SYSTRA, cuyo objeto fue la “Estructuración Técnica de Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá”. Este contrato fue desarrollado en su totalidad y los entregables derivados del mismo fueron aprobados por LA EMB, LA FDN y la correspondiente interventoría.

Consecuentemente, la FDN suscribió el contrato 003 de 2017 con el Consorcio Metro, conformado por la sociedad Sener Ingeniería y Sistemas Colombia SAS, y por la sociedad Integral SA con el objeto de realizar la “Interventoría técnica, administrativa, legal y financiera de los estudios y diseños a realizar dentro del contrato de consultoría para la estructuración técnica del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá.”

Como resultado de la ejecución del Convenio Interadministrativo N.º 1880 de 2014, y del contrato 002 de 2017, LA EMB adelantó el proceso de selección y celebró el contrato de Concesión N.º 163 de 2019 para la ejecución del Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB – T1) con Metro Línea 1 S.A.S.

El alineamiento estratégico del proyecto Primera Línea del Metro de Bogotá fue definido con la expedición del Decreto 398 de 2009, "Por el cual se informa a la ciudadanía de Bogotá D.C., el resultado de la Consultoría "Diseño conceptual de la Red de Transporte Masivo Metro y dimensionamiento y estructuración técnica, legal y financiera de la línea metro, en el marco del SITP para la ciudad" y se ordenan unas actuaciones administrativas y urbanísticas", con base en los resultados de la consultoría mencionada y siguiendo las directrices del Plan de Ordenamiento Territorial (Decreto 190 de 2004) y del Plan Maestro de Movilidad (Decreto 319 de 2006).

Dentro del proceso de maduración del proyecto de la PLMB, el alineamiento al que se refiere el anterior párrafo fue modificado en ciertos tramos con base en el desarrollo y los resultados de varios estudios y diseños adelantados entre los años 2013 y 2016. No obstante, siempre se mantuvo la concepción inicial de conectar el sector sur -occidental con el borde oriental y, este último, con el sector nororiental de la ciudad.

Las modificaciones efectuadas al Decreto 398 de 2009 han sido las siguientes:

1. Mediante Decreto Distrital 577 de 17 de diciembre de 2013 se modificó el artículo 1º del Decreto 398 de 2009, con el fin de precisar y adoptar el trazado general del Proyecto Primera Línea del Metro de Bogotá – PLMB,

- contenido y delimitado en el Mapa Anexo No. 1 - Primera Línea Metro-. En este decreto el trazado fue modificado en un tramo central entre la localidad de Kennedy y el centro de la ciudad.
2. Mediante el Decreto Distrital 425 de 2014 que adicionó el Decreto Distrital 577 de 2013, se efectuó el anuncio de la implementación del Ramal Técnico de Conexión al trazado del Proyecto de la PLMB.
 3. Como resultado de estudios técnicos y económicos realizados entre los años 2016 y 2017, se expidió el Decreto Distrital 318 de 16 de junio de 2017 por medio del cual el trazado del Proyecto PLMB fue modificado en su parte central, sustituyendo el corredor de la Carrera 13, Carrera 11 y Carrera 9 por el corredor Avenida Caracas y Autopista Norte.
 4. Mediante Decreto 634 de 2017 se integró al anuncio del Proyecto de la PLMB, el Ramal Técnico de Conexión y la localización del Patio Taller

De conformidad con lo establecido en el Documento CONPES 3882 de 2017, posteriormente ratificado en el Documento CONPES 3899 de 2017, y debido a la restricción presupuestal tanto de la Nación como de Distrito, la Primera Línea del Metro de Bogotá se estructuró para ser ejecutada en dos tramos así:

- Tramo 1 comprendido entre el “Patio-taller ubicado en la localidad de Bosa hasta la estación Calle 72 incluida la cola de maniobras que va hasta la calle 80 y Tramo 2 iniciando en Calle 80 hasta la calle 127 con Autopista Norte”.

De conformidad con lo establecido en el documento CONPES 3900 de 2017, el Proyecto de la Primera Línea del Metro de Bogotá (“PLMB-TRAMO 1”) “(...) iniciará desde el patio-taller en la localidad de Bosa, hasta la calle 127” y declaró “(...) de importancia estratégica el proyecto Primera Línea del Metro para Bogotá tramo 1 (...)”

De acuerdo con su objeto social, está en cabeza de LA EMB adelantar la planeación, estructuración, construcción, operación, explotación y mantenimiento de las líneas férreas y de metro que hacen parte del Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá.

De acuerdo con las definiciones de estudios de ingeniería de la Ley 1682 de 2013 sobre los proyectos de infraestructura de transporte, la EMB requiere estudiar las alternativas de trazado para llevar a cabo la extensión de la PLMB- TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100 con autopista Norte, así como realizar la factibilidad técnica, legal y financiera de la misma.

LA EMB determinó la necesidad de llevar a cabo la extensión de la PLMB-TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100 con autopista norte tomando como referencia, en términos generales, las especificaciones técnicas del Contrato de Concesión No. 163 de 2019 suscrito entre LA EMB y Metro Línea 1 S.A.S. (el “Contrato de Concesión No. 163 de 2019”). En este sentido, la EMB requiere analizar y determinar la viabilidad de una adición al mencionado contrato de concesión desde el punto de vista técnico, legal y financiero.

La tipología de la infraestructura de la extensión será similar a la desarrollada para la PLMB - TRAMO 1 hasta la calle 72; esto es una tipología 100% en viaducto con los mismos sistemas metroferroviarios, de modo que se logre una línea de metro que opere integralmente, incluido el nuevo tramo de la extensión.

Dada la necesidad de LA EMB de contar con el análisis, estudios y diseños técnicos y financieros para adelantar la extensión de la PLMB-TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100 con autopista Norte, LA EMB y LA FDN suscribieron el Contrato interadministrativo 277 de 2021 con el objeto de “Realizar la estructuración técnica y financiera de la extensión

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

de la PLMB-TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019.”

Se resalta que el componente legal y de integración de los estudios no hace parte del contrato 277 de 2021 mencionado anteriormente; estos estarán a cargo de LA EMB.

Teniendo en cuenta los antecedentes descritos, y de acuerdo con la necesidad de realizar la estructuración técnica y financiera de la extensión de la PLMB-TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100 con autopista norte, de acuerdo con las definiciones técnicas establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019, la FDN contrató una asesoría técnica especializado que acompañe a la FDN en la estructuración técnica y financiera de la extensión de la PLMB-TRAMO 1 (EPLMB) hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019 y aquellas complementarias del contrato 277 de 2021 firmado entre la EMB y la FDN, al cual ya se hizo referencia.

1.3. MARCO LEGAL

Este documento corresponde al entregable 2.1B denominado “Informe de alternativas de emplazamiento geométrico férreo” que hace parte de las obligaciones asumidas por la FDN en el marco del contrato 277 de 2021, así como por la U.T. Extensión Metro Línea 1 con FDN, en virtud de lo previsto en el Contrato 085/2021. Este documento genera una metodología de relacionamiento entre FDN y el Asesor, y a su vez con la EMB.

De conformidad con lo anterior, para la Asesoría es claro y actuará en consecuencia con las siguientes consideraciones:

- La EMB no tiene relación ni responsabilidad alguna frente a los subcontratistas de FDN, en este caso la Asesoría.
- La FDN recibirá, revisará e integrará los productos entregados por su asesor técnico¹.

En consecuencia:

1. El canal formal de comunicación verbal y escrita entre EMB y la Asesoría será la FDN.
2. Todos los productos a cargo de la Asesoría serán dados a conocer a EMB a través de FDN, quien posteriormente recibirá de EMB las observaciones que correspondan, o las aprobaciones si son del caso, para transmitir las a la Asesoría.
3. Lo anterior sin perjuicio de lo que EMB y la Asesoría puedan tratar de manera directa en reuniones y talleres de trabajo con presencia de representantes autorizados de FDN.

¹ De acuerdo con el contrato 277 de 2021, la Interventoría (SENER) hará seguimiento, control, análisis, revisión, evaluación y aprobación de los entregables técnicos del contrato.

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

2. GENERALIDADES

2.1. ALCANCE

Se presenta en este informe los estudios de capacidad y calidad de energía de la red de Media Tensión y Tracción, se analizan los diferentes escenarios y se proponen las soluciones que mejor se adaptan a las condiciones de operación de la PLMB incluyendo la extensión.

2.2. NORMATIVIDAD TÉCNICA Y REFERENCIAS

En el Anexo 1 del presente documento se presentan las normas y guías que serán tenidas en cuenta para el sistema de Alimentación Eléctrica.

Los documentos utilizados como referencias son los siguientes:

Tabla 1 Documentos de Referencias

Documento	Descripción
<i>Apéndice Técnico 8 - Sección 2 - Sistemas de Alimentación de Energía del Contrato de Concesión No. 163 de 2019.</i>	Especificaciones Técnicas de diseño, fabricación y suministro de Sistemas Metro-ferroviarios
	Sección 2 - Sistemas de alimentación de energía eléctrica
ETPLMB-ET10-L01-MCA-K-0001-R0	Estructuración Técnica del tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB)
	Especificaciones Funcionales y Técnicas del Sistema de Alta Tensión
ETPLMB-ET10-L02-ITE-K-001-R0	Informe de Simulación de Tracción
ETPLMB-ET10-L03-ITE-K-002-R0	Informe de configuración Centros de Transformación (CT)
ETPLMB-ET10-L01-PLA-K-001-R0	Esquema Unifilar de Arquitectura Alta Tensión
EPLMB-ELM-E5-POP-0001-R0	Plan de Operación Preliminar

3. CRITERIOS DE DISEÑO

3.1. CRITERIOS DE DISEÑO DE ALIMENTACIÓN PRIMARIA ALTA TENSIÓN

El subsistema de alimentación alta tensión debe tener una muy alta disponibilidad, en consideración a las exigencias de una línea de metro automática. Con el tramo de extensión se debe mantener una disponibilidad de fuentes de 99,998%, similar a la especificada para la primera etapa de la PLMB, la cual se logra con una redundancia n-2 de fuentes de Alta Tensión.

En principio la disponibilidad requerida se puede obtener con tres Subestaciones Receptoras (SER) no redundantes, alimentadas desde puntos independientes de la red de subtransmisión 115 KV, y en caso de que técnicamente sea necesario incorporar una 4ª SER, la redundancia se logra con dos de las cuatro subestaciones fuera de servicio.

Las Subestaciones Receptoras serán de tipo GIS, debido al menor impacto urbano y reducido tamaño de esta tecnología. El mayor CAPEX del equipamiento con relación a una solución convencional, su mayor costo es compensado por la menor superficie requerida, alrededor de un cuarto de una subestación convencional, lo que resulta relevante en zonas urbanas con limitaciones de espacio y costos del suelo.

De acuerdo con la recomendación IEEE 519, se deberá tener en consideración la limitación de corriente armónica inyectada hacia la red del Distribuidor, la cual es producida por los rectificadores de tracción. Especial cuidado se deberá tener en las resonancias provocadas por la interacción de la capacitancia distribuida de los cables de media tensión y la reactancia del transformador de poder, las que pueden amplificar la inyección de corrientes armónicas hacia la red primaria. En este sentido es conveniente que cada transformador alimente cargas de tracción y de alumbrado y fuerza, para limitar la impedancia de resonancia.

3.2. CRITERIOS DE DISEÑO DE DISTRIBUCIÓN MEDIA TENSIÓN

La distribución de media tensión 34,5 KV para alimentar las subestaciones de tracción (SET), y a los Centros de Transformación de Energía (CTE), se realizará por anillos alimentados desde las SER, con redundancia n-2, esto es, la falla simultánea o consecutiva de 2 cables u otro componente, no afectará la alimentación a los consumos de tracción o estaciones.

Una condición de diseño es que no se conecten en paralelo a nivel de media tensión (34,5 kV) los transformadores de 2 SER, para lo cual se deberán considerar las interdicciones eléctricas en los interruptores de las barras colectoras de enlace.

Los criterios de diseño, desde el punto de vista de las instalaciones que se consideran son:

- El diseño de la instalación debe permitir la ampliación futura de la instalación de una forma sencilla y rápida, sin necesidad de modificaciones substanciales.
- Los equipos por suministrar deberán ser de alta calidad para asegurar la máxima confiabilidad y disponibilidad.
- Todos los equipos que están a la intemperie deben tener un IP que asegure su impermeabilidad.

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

- Los equipos deben estar controlados y/o supervisados a través del sistema SCADA.
- Todos los cables deben estar libres de emisión de halógenos y su cubierta debe tener una composición retardante de llama.
- Todos los cables de MT deben ser monopares y sus características serán definidas en la etapa de diseño, en base a cumplimiento de la normativa, entre otras, regulación de tensión y sobrecargas.
- Todos los cables que están expuestos al sol deben tener una protección contra los rayos UV.
- Todos los aparatos de conmutación de media tensión deben ser motorizados.
- Las barras de distribución y las celdas deben poseer la mantenibilidad necesaria para su intervención.
- Todas las operaciones normales de una celda en operación deben ser realizada desde la parte frontal de la celda, asegurando una seguridad completa.

Las principales características eléctricas de las celdas de 34,5 KV deben ser las siguientes:

- Celdas tipo interior.
- Tensión nominal: 38 KV.
- Barraje simple.
- Grado de protección de componentes de alta tensión:
 - IP3X a mínima para las celdas con barras aisladas con aire
 - IP54 para los aparatos de comando y control y los auxiliares.

Los empalmes de los cables de MT deben garantizar la continuidad tanto del conductor como del apantallamiento de éste. El conjunto de empalmes deberá mantener las mismas características de estanqueidad, resistencia mecánica, solicitaciones térmicas y electromecánicas frente a cortocircuitos definidas en las características de los cables.

3.3. CRITERIOS DE DISEÑO DE ALIMENTACIÓN TRACCIÓN

Las subestaciones de tracción (SET) serán diseñadas en base a rectificadores de diodos, por su mayor robustez, y en configuración de puente trifásico de 12 pulsos, con objeto de reducir la inyección de armónicas de corriente a la red de alterna.

Cada subestación estará conformada por dos o tres grupos transformador-rectificador, los cuales serán completamente redundantes (sin modos de falla común).

Cada grupo estará alimentado de una barra colectora independiente de MT, y la falla de un grupo no afectará la operación de trenes, estando cada grupo dimensionado para soportar la carga total de la subestación.

La alimentación a las vías se realizará a través de interruptores ultrarrápidos, también redundantes, de modo que cada zona entre subestaciones contiguas estará siempre alimentada desde ambas SET.

La tensión de alimentación a los trenes será de 750 Voltios de Corriente Continua, a través de tercer riel.

Las subestaciones de la línea tendrán las siguientes características:

- Conexión en 34,5 KV a los Centros de Transformación de Energía de la estación respectiva, el grupo A al CTE1 y el grupo B al CTE2
- Cada grupo estará constituido básicamente por:
 - Celda MT (Interruptor, seccionador, módulo multifunción)
 - Transformador seco tres enrollados
 - Rectificador de diodos dodecafásico
 - Seccionador bipolar 750 Voltios corriente continua (Vcc)
 - Interruptores ultrarrápidos 750 Voltios corriente continua
 - Control y Protecciones
 - SCADA Energía
 - Servicios Auxiliares

Los equipos tendrán refrigeración natural y existirá una ventilación forzada del recinto para asegurar una temperatura ambiente máxima de 40°C.

3.3.1. Zonas y Secciones de Tracción

La línea está dividida en varias zonas de alimentación tracción 750 Voltios corriente continua por medio de un corte al nivel de tercer riel.

Estas zonas están separadas por 2 Subestaciones de Rectificación tipo Pi (o S).

Cada zona será dividida en secciones, por medio de un corte al nivel del tercer riel, para poder operar la línea con servicios provisionales.

El seccionador de aislamiento telecontrolado (SAT) permite en situación normal de alimentación, unir las secciones entre ellas, y en caso de servicio provisional, separarlas.

A veces, según los casos, los límites geográficos de la zona tracción corresponden a los de la sección.

De acuerdo con las definiciones de zonas de maniobra y operación de terminales, se proyectarán los equipos siguientes:

- Seccionadores de maniobras de servicios parciales: Motorizados con mando a distancia
- Seccionadores de terminales: Motorizados con mando a distancia
- Seccionadores manuales en fosos de visita de terminales

3.4. CRITERIOS DE DISEÑO DE ALIMENTACIÓN ALUMBRADO Y FUERZA ESTACIONES

De acuerdo con la topología de distribución indicada más arriba, en cada estación existirán 2 Centros de Transformación de Energía (CTE), cada uno conectado a una barra colectora independiente. Cada uno de los CTE estará conformado por un transformador de distribución 34,5/0,208 KV para la alimentación de los consumos de baja tensión de la estación.

Dentro de los criterios de diseño, a nivel de baja tensión (BT) se contempla una barra de “Consumos Críticos” que puede ser alimentada por uno u otro transformador, mediante un dispositivo de transferencia automática. Estos consumos críticos corresponden a los Sistemas informáticos y de control (CBTC, Comunicaciones, SCADA, Puertas de Andén, etc.), que al no tener energía eléctrica afectan directamente la operación, en algunos casos generando una degradación de la oferta de transporte, o en otros la detención del servicio de pasajeros.

También con transferencia automática, se incluyen algunos sistemas que al no tener la alimentación eléctrica afectan la seguridad (Safety) de las personas, como son los alumbrados de estaciones, donde se define un porcentaje de iluminación básica, como a su vez la seguridad (Security), que está en los Circuitos Cerrado de Televisión (CCTV).

Para los consumos críticos en Estaciones adicionalmente a la alimentación preferencial, se contempla una UPS redundante Centralizada en cada estación, con autonomía mínima de 2 horas.

Para el dimensionamiento de potencia de cada transformador se tendrá en cuenta que en condiciones degradadas, este deberá suplir al consumo total de la estación. En principio se proponen transformadores de 400 KVA para estaciones,

4. ANTECEDENTES ETAPA 1 PLMB

4.1. SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El Sistema de Alimentación de Energía Eléctrica está conformado por cuatro subsistemas:

- Alta Tensión
- Distribución Media Tensión
- Tracción Línea
- Alumbrado y Fuerza Estaciones y Talleres

4.1.1. Alta Tensión (AT)

En la ingeniería básica del proyecto de la primera etapa de la PLMB se definió la alimentación de energía de alta tensión mediante tres SER no redundantes, con un transformador cada una de ellas, ubicadas la SER Chicalá y SER Calle 67 a los extremos y a la SER Calle 1 en el sector centro de la línea.

Ilustración 1 Trazado PLMB etapa 1 y ubicación de las SER



4.1.2. Demandas de Potencia

4.1.2.1. Simulaciones de potencias de tracción y estimación auxiliares Baja Tensión (BT)

En los estudios de factibilidad de la PLMB se proyectaron las potencias de Tracción y Auxiliares BT para tres etapas de horizontes 2025, 2030 y 2050. (Referencia ETPLMB-ET10-L01-MCA-K-0001-R0)

Como parte de dichos estudios se realizaron simulaciones de tracción para la etapa 1, calle 72, para dos escenarios de operación, de 180 y 100 segundos, respectivamente. Para las etapas siguientes de calle 127 y calle 170 se realizaron estimaciones en MVA/km totales (tracción y Auxiliares) por extrapolación lineal, sin realizar simulaciones de tracción.

Tabla 2 Potencias Tracción y Auxiliares BT

Etapas	Potencia Tracción MVA	Potencia Auxiliares BT MVA	Potencia Total MVA
1- 2022 Calle 72 180 seg	24,1	17,5 (incluye 30% reserva BT)	45,8 (incluye 10% reserva AT)
3- 2050 Calle 72 100 seg	40,7	17,5 (incluye 30% reserva BT)	64 (incluye 10% reserva AT)
2- 2030 Calle 127 180 seg	NA	NA	56,2 (considera 2,1 MVA/km)
4- 2030 Calle 127 100 seg	NA	NA	78,6 (considera 2,9 MVA/km)

En el análisis de escenarios se indica que para la etapa 2 calle 127, con 180 segundos de intervalo, se requeriría una 4ª SER en la Extensión Norte.

4.1.2.2. Capacidad de las SER

En los estudios de factibilidad de la primera etapa se definieron transformadores de las SER con tres niveles de potencia, según la modalidad de ventilación:

- 46 MVA ONAN
- 51 MVA ONAF 1
- 73 MVA ONAF 2

4.1.3. Distribución Media Tensión (MT)

La Distribución de Media Tensión, se realiza en 34,5 kV a través de tableros alimentadores conectados a las SER Chicalá, SER Calle 1 y SER Calle 67. Los tableros alimentadores de MT proporcionan energía a las Subestaciones de tracción (SET) y a los Centros de transformación de Energía (CTE).

La distribución de MT se configura mediante tableros alimentadores en 34,5 kV, desde la SER Chicalá se derivan dos tableros alimentadores, que conforman el anillo 1 y 2, el segundo par de tableros alimentadores se derivan de la SER Calle 1 y el tercer par de tableros alimentadores se derivan de la SER calle 67, donde en el estado normal de funcionamiento, entregan energía a los CTE y SET, según la distribución que se muestra en el cuadro siguiente:

Tabla 3 Distribución MT (SER -CTE)

Patio Taller y Estaciones Etapa 1	SER					
	CHICALA		CALLE 1		CALLE 67	
	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 1	Anillo 2
Patio Taller	CT 1	CT 2				
Estación Carrera 96	CT 1	CT 2				
Estación Portal las Americas	CT 1	CT 2				
Estación Carrera 80	CT 1	CT 2				
Estación Calle 42 Sur	CT 1	CT 2				
Estación KENNEDY			CT 1	CT 2		
Estación Avenida Bocayá			CT 1	CT 2		
Estación Avenida 68			CT 1	CT 2		
Estación Carrera 50			CT 1	CT 2		
Estación NQS			CT 1	CT 2		
Estación Nariño			CT 1	CT 2		
Estación Calle 1			CT 1	CT 2		
Estación Calle 10					CT 1	CT 2
Estación Calle 26					CT 1	CT 2
Estación Calle 45					CT 1	CT 2
Estación Calle 63					CT 1	CT 2
Estación Calle 72					CT 1	CT 2

La cantidad de estaciones que alimenta cada SER, fueron definidas para mantener en el sistema eléctrico, bajo condiciones normales de funcionamiento, un consumo equilibrado en cada una de las SER. En el caso de fallo de una o dos SER, el sistema se reconfigura, a través de comandos de los interruptores desde el Centro de distribución de energía, para mantener la condición de alimentación eléctrica a los CTE y SET, sin degradar el funcionamiento de la PLMB.

Por condición operativa, no se debe poner en paralelo a nivel de MT dos SER, es decir alimentar un consumo por ambas fuentes, por lo que existe un enclavamiento o interdiciones eléctricas en los interruptores de las barras colectoras, que impide la realización de la conexión en paralelo.

4.1.4. Tracción Línea y Talleres

El cuadro siguiente presenta una descripción general, de la ubicación y el tipo subestaciones de tracción para las etapas 1 y 3, definidas en el estudio de factibilidad de la PLMB

Tabla 4 Tipos y ubicaciones de las SET (Etapa 1 y 3)

Patio Taller y Estaciones Etapa 1	SET			
	CANTIDAD y UBICACIÓN			
	SET Etapa 1	SET Etapa 3	PK (m)	Distancia (m)
Patio Taller	Tri grupo	Tri grupo	0	
Estación Carrera 96	Tri grupo	Tri grupo	2.201	2.201
Estación Portal las Americas				
Estación Carrera 80	Bi grupo	Tri grupo	4.572	2.371
Estación Calle 42 Sur				
Estación KENNEDY	Bi grupo	Tri grupo	6.670	2.098
Estación Avenida Bocayá				
Estación Avenida 68	Bi grupo	Tri grupo	9.710	3.040
Estación Carrera 50				
Estación NQS	Bi grupo	Tri grupo	12.139	2.429
Estación Nariño				
Estación Calle 1	Bi grupo	Tri grupo	15.097	2.958
Estación Calle 10				
Estación Calle 26	Bi grupo	Tri grupo	17.669	2.572
Estación Calle 45				
Estación Calle 63	Bi grupo	Bi grupo	21.733	4.064
Estación Calle 72	Bi grupo	Tri grupo	23.094	1.361

4.1.5. Baja Tensión

4.1.5.1. Descripción general de BT

Los CTE son alimentados en 34.5kV por medio de los anillos de media tensión.

Los CTE transforman la energía a la tensión de utilización de los consumidores y entregan la energía a los tableros correspondiente:

- 208/120 V (3F+N) para las estaciones, el patio taller, las SET y el Centro de Control Operacional.
- 480V/277V (3F+N) para la utilización de algunos equipos del patio/taller.

Las estaciones, las SET y en el Centro de Control Operacional, se incluyen un CTE con dos transformadores para la redundancia. Cada transformador es capaz de suministrar toda la carga en forma permanente.

Cada transformador de un CTE es alimentado eléctricamente por uno de los dos anillos.

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

5. ANTECEDENTES ETAPA 2 PLMB: EXTENSIÓN HASTA CALLE 100

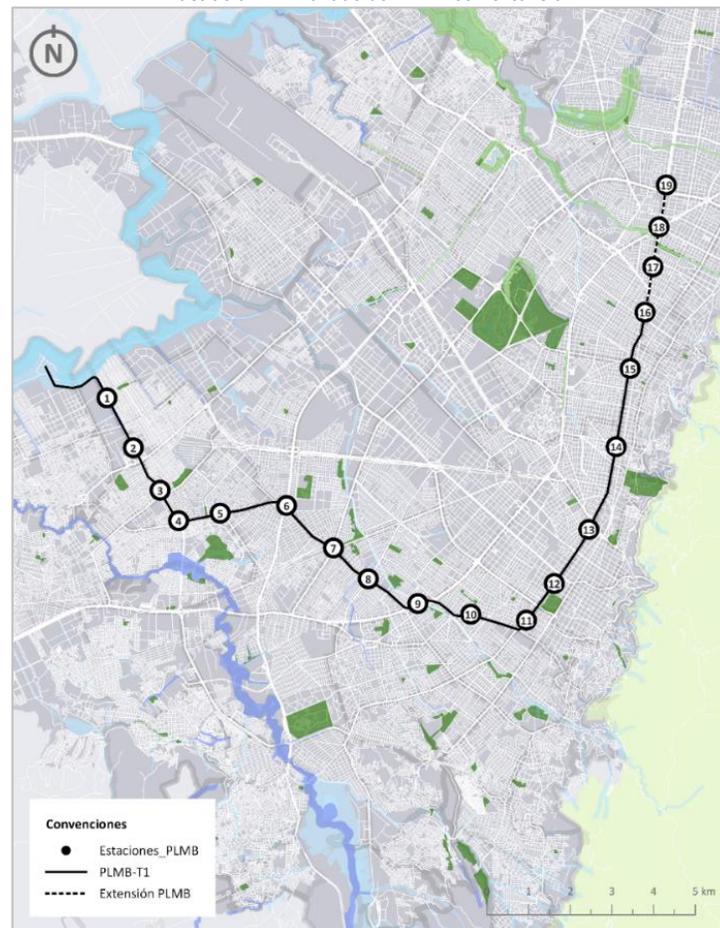
En la documentación inicial de la primera etapa la PLMB estaba proyectada hasta la calle 127, posteriormente se definió que la extensión fuese hasta la calle 100 con Autopista norte.

La extensión tiene una longitud total de aproximadamente 3,4 km e incorporará 3 estaciones a las 16 de la PLMB:

- Estación N°17 en calle 82;
- Estación N°18 en el "nodo calle 92"
- Estación N°19 al norte de la calle 100

Esta longitud incluye las vías principales y las vías de cola de maniobras a la estación Calle 100.

Ilustración 2 Trazado de PLMB con extensión



ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

La distribución de MT se configura mediante alimentadores en 34,5 kV, desde la SER Chicalá y SER Calle 1 y el tercer par de alimentadores se derivan de la SER calle 67, donde entregan energía a los CTE y SET.

Al considerar la extensión hasta la calle 100, se debe reconfigurar la cantidad de estaciones que son alimentadas por cada SER, con el objeto de mantener equilibrados los consumos en las tres SER.

En relación con la estimación de potencia demandada de auxiliares baja tensión en estaciones y talleres, los valores establecidos en el estudio de factibilidad se consideran demasiado elevados en comparación a líneas similares.

Para estaciones de viaducto y con alumbrado LED las potencias no deberían superar los 150 KW, y los talleres con factores de diversidad importantes y alumbrado LED interior y exterior no superan los 1500 KW. Con estas consideraciones el valor estimado preliminarmente de 17,5 MVA se reduce a 5,6 MVA, monto más acorde a lo encontrado en proyectos similares, y es el que se propone utilizar como base para el estudio de factibilidad de la extensión.

Otro de los elementos que se debe considerar en la extensión de la línea al instalar otras SET, es reconfigurar la nominación de las zonas y secciones de alimentación tracción 750 Voltios corriente continua.

De acuerdo con las definiciones de zonas de maniobras y operación de terminales, se deben proyectar los equipos de tracción de 750 Voltios corriente continua siguientes:

- Seccionadores de maniobras de servicios parciales: Motorizados con mando a distancia.
- Seccionadores de terminales: Motorizados con mando a distancia.
- Seccionadores manuales en fosos de visita de terminales, en caso de existir.

6. ESTUDIOS DE ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

6.1. ESTUDIO CAPACIDAD Y CALIDAD DE ENERGÍA RED AT/MT PLMB

El propósito de este capítulo es establecer y dimensionar los impactos en la red eléctrica de media tensión y en las subestaciones receptoras por efectos de la extensión proyectada, en cuanto a la capacidad de potencia, regulación de tensión y distorsión armónica.

Para el desarrollo de este estudio se ha utilizado el software de simulación de sistemas de potencia DigSilent Power Factory, en el cual se ha modelado la red de media tensión de la etapa inicial y de la extensión, así como las subestaciones receptoras SER.

6.1.1. Supuestos de la modelación

Los supuestos utilizados para la modelación son los siguientes:

- Sección de cables de anillos: 300 mm² Cu
- Sección de alimentadores MT desde SER a cada anillo: 2*400mm² Cu
- Transformadores SER: Reactancia Secuencia positiva 8%, Base 60 MVA
- Longitud de los alimentadores desde SER a los anillos:
 - SER Chicala-Talleres: 3 Km
 - SER Calle 1^a –Estación Calle 1^a: 0,5 Km
 - SER Calle 67-Estación calle 100: 4 Km

Las cargas de tracción fueron repartidas uniformemente en las 10 SET consideradas, de acuerdo con las ubicaciones y potencias resultantes de las simulaciones de tracción desarrolladas en el punto 3.2 del presente documento.

Para efectos de repartición de potencias y flujos armónicas, se consideran los valores efectivos medios de potencia, en tanto para la regulación de tensión se realiza una sensibilización con corrientes máximas en las subestaciones extremas.

Cada grupo de la SET se modela como fuente de corriente, con un contenido armónico correspondiente a la rectificación de 12 pulsos, con un factor de potencia 0,96.

En las cargas de Baja Tensión, se utilizan valores uniformes de 200 KW por cada CT de estaciones y 750 KW en cada CTE de Talleres, con factor de potencia de 0,9 en ambos casos.

6.1.2. Escenarios de Regulación de Tensión y Flujos de Potencia 60 Hz

Los escenarios de interés corresponden a:

Condición Normal

- **Escenario N°1:** Todas las SER en servicio y alimentando un segmento de anillo, de modo de repartir las cargas de manera uniforme.

Condición degradada falla N-2

- **Escenario N°2:** SER Chicalá alimenta ambos anillos desde Talleres hasta calle 100 (SER Calle 1ª y SER calle 67 Fuera de Servicio)
- **Escenario N°3:** SER Calle 67 alimenta ambos anillos desde calle 100 hasta Talleres (SER Calle 1ª y SER Chicalá Fuera de Servicio)

Estos 2 escenarios son los más desfavorable para evaluar la necesidad de agregar una 4ª SER.

- **Escenario N°3.1:** Adicionalmente se han sensibilizado estos escenarios degradados, con una opción de alimentación desde la Subestación Castellana mediante alimentadores de MT hasta la calle 100 (1 kilómetro), como alternativa a la alimentación desde la Subestación de Calle 67 (4 Km).

6.1.2.1. Resumen de Resultados

Simulaciones de Potencia

A continuación, se muestra el resumen de resultados de las simulaciones, y en Anexos se tiene el detalle de los esquemas y tablas obtenidas del software para los distintos escenarios.

Tabla 5 Escenario N°1 Todas las SER en servicio

Escenario 1	SER Chicala	SER Calle 1ª	SER Calle 67
Potencia Activa [MW]	16,68	18,71	14,3
Potencia Reactiva [MVar]	-0,42	0,05	-1,84
Potencia Aparente [MVA]	16,7	18,71	14,5
Regulación de Tensión	Caída Menor a 1%		

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

Tabla 6 Escenario N°2 SER Chicalá en servicio

Escenario 2	SER Chicala	SER Calle 1ª	SER Calle 67
Potencia Activa [MW]	49,26	-	-
Potencia Reactiva [MVar]	7,99	-	-
Potencia Aparente [MVA]	49,9	-	-
Regulación de Tensión Carga Media	Calle 100 : 33,08 KV (-4,1%)		
Regulación de Tensión con Carga Peak Instantánea de Tracción	Calle 100 : 31,92 KV (-6,8%)		

Tabla 7 Escenario N°3 SER Calle 67 en servicio

Escenario 3	SER Chicala	SER Calle 1ª	SER Calle 67
Potencia Activa [MW]	-	-	49,27
Potencia Reactiva [MVar]	-	-	7,95
Potencia Aparente [MVA]	-	-	49.9
Regulación de Tensión Carga Media	Talleres : 33,08KV (-4,1%)		
Regulación de Tensión con Carga Peak Instantánea de Tracción	Talleres : 31,92 KV (-7,5%)		

Tabla 8 Escenario N°3.1 SER Castellana en servicio

Escenario 3.1	SER Chicala	SER Calle 1ª	SER Castellana
Potencia Activa [MW]	-	-	49,19
Potencia Reactiva [MVar]	-	-	7,02
Potencia Aparente [MVA]	-	-	49.69
Regulación de Tensión Carga Media	Talleres : 33,07KV (-4,1%)		
Regulación de Tensión con Carga Peak Instantánea de Tracción	Talleres : 31,92 KV (-7,4%)		

6.1.2.2. Análisis de Resultados Flujos de Carga

Los resultados de las simulaciones de Flujos de Carga para el escenario normal, con las 3 SER en servicio muestran que las potencias se pueden equilibrar, siendo el consumo normal de 18,7 MW para el transformador más cargado y con el enlace de cable MT más corto (menores pérdidas), correspondiente a la SER Calle 1ª, y de 14,3 MW para la SER Calle 67, que tiene el enlace más largo.

En cuanto a los escenarios con degradación N-2, con sólo SER Chicalá en servicio o sólo SER Calle 67 en servicio, son prácticamente idénticos, y la regulación en ambos casos es de orden del 4% para condición de cargas medias y de 7% para cargas instantáneas.

Para el escenario de alimentación desde la Subestación Castellana, en vez de la SER Calle 67, la regulación de tensión para cargas medias, 4,1%, es similar a la obtenida con la SER Calle 67 y la regulación de tensión para cargas instantáneas es de 7,4%, prácticamente igual a la obtenida con alimentación desde la SER Calle 67.

De acuerdo al análisis de resultados se concluye que para la condición normal de servicio la regulación de tensión es menor al 1% y que para los escenarios degradados n-2 más desfavorables, con alimentación ya sea solo de SER Chicalá o solo de SER Calle 67, la regulación de tensión se mantiene en rangos aceptables, tanto para cargas medias como instantáneas máximas.

Desde el punto de vista técnico, la alimentación desde la SER Castellana no representa ventajas apreciables, puesto que la regulación de tensión es similar a la alternativa de SER Calle 67, e igualmente en cuanto a pérdidas de transmisión ya que, en condición normal, con las 3 SER en servicio, las cargas en los alimentadores están muy por debajo de sus valores nominales.

En cuanto a la capacidad de potencia de los transformadores previstos para la primera etapa, estos pueden solventar sin problemas, incluido el caso degradado N-2, la potencia agregada por la extensión, bajo las consideraciones indicadas en el punto 3, referidas a la actualización de consumo de Baja Tensión.

Si bien con calibres de cables de anillo de 300mm² Cu no existen problemas de regulación ni capacidad con las cargas efectivas permanentes, se recomienda diseñar los segmentos de anillos de ambos extremos de la línea con 2 circuitos de 300 mm² para solventar con la holgura suficiente los peaks instantáneos de tracción.

6.1.2.3. Escenarios Distorsión Armónica

A modo de preámbulo se debe indicar que la problemática de distorsión armónica es común en redes de metro y su origen está determinado por las cargas no lineales de rectificadores de tracción de 6 o 12 pulsos (5ª y 7ª o 11ª y 13ª armónicas), las resonancias cercanas a dichas frecuencias, que amplifica la magnitud de las armónicas, dependiendo de la topología de la red, con distintas longitudes de cables media tensión, y finalmente, la relativamente baja carga activa de auxiliares, no favorece la atenuación de dichas resonancias.

Los valores de la distorsión armónica a controlar se pueden clasificar como sigue:

- Distorsión de Corriente Total (THDi) y armónicas individuales (h_i) inyectadas a la red de alta tensión, acordes a niveles de las recomendaciones internacionales (IEEE 519 Recomendaciones y Prácticas de Control Armónicas).
- Distorsión de tensión total (THDv) y armónicas individuales (h_v) en barras de media tensión, los que tienen efectos sobre la calidad de suministro al interior de la empresa.

En particular en la red con topología de anillos segmentados, los cambios de configuraciones por motivos operacionales inciden fuertemente en los niveles de distorsión por efecto de los cambios de resonancia entre la capacitancia distribuida de los cables de media tensión y la reactancia de secuencia positiva del transformador de poder respectivo.

Para efectos de análisis se ha considerado la mitigación de armónicas mediante filtros pasivos en las barras de media tensión de cada transformador de potencia.

En base a lo anterior se han definido los siguientes escenarios de interés para la simulación de Flujos de Potencia Armónica:

Tabla 9 Escenarios Flujos de Potencia de Armónica

Escenario	SER Chicala	SER Calle 1ª	SER Calle 77	Filtros
1.1	✓	✓	✓	x
1.2	✓	✓	✓	✓
2.1	✓	x	x	x
2.2	✓	x	x	✓
3.1	x	✓	x	x
3.2	x	✓	x	✓
4.1	x	x	✓	x
4.2	x	x	✓	✓

Los productos de las simulaciones en cada escenario son:

- Espectros de distorsión armónica de tensión en barras generales de media tensión
- Espectros de distorsión armónica de corriente inyectadas a la red de alta tensión
- Gráficos de resonancia en barras generales de media tensión

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

6.1.3. Resumen de Resultados Flujo de Carga Armónicas

Distorsión Total de Voltaje (THDv) Barras Generales Media Tensión

Tabla 10 Distorsión Total de Voltaje (THDv)

Escenario	SER Chicala	SER Calle 1ª	SER Calle 67	Filtros
1.1	28,60%	7,90%	87%	✘
1.2	1,70%	1,50%	1,60%	✓
2.1	7,30%	✘	✘	✘
2.2	6,40%	✘	✘	✓
3.1	✘	4,60%	✘	✘
3.2	✘	3,40%	✘	✓
4.1	✘	✘	8%	✘
4.2	✘	✘	5,60%	✓

Distorsión Total de Corriente (THDi) Barras Generales Media Tensión

Tabla 11 Distorsión Total de Corriente (THDi)

Escenario	SER Chicala	SER Calle 1ª	SER Calle 67	Filtros
1.1	65,00%	29,00%	220%	✘
1.2	2,50%	3,70%	2,70%	✓
2.1	5,70%	✘	✘	✘
2.2	4,80%	✘	✘	✓
3.1	✘	7,20%	✘	✘
3.2	✘	4,40%	✘	✓
4.1	✘	✘	6%	✘
4.2	✘	✘	4,20%	✓

Los gráficos de espectros de armónicas individuales de voltaje (HDv) y armónicas individuales de corriente (HDi), así como las curvas de resonancia, para cada escenario, se detallan en Anexo.

6.1.4. Análisis de Resultados Flujos de Carga Armónicas

Los altos valores de distorsión de voltaje y corriente para la situación normal sin filtros, se explica por el hecho que la frecuencia de resonancia entre la capacitancia distribuida de los cables y la reactancia del transformador de potencia, en cada una de las SER, esta cercana en su frecuencia a la de las armónicas 11^a y 13^a.

En el caso del escenario 1.1 sin filtros en la SER Calle 67 se da una coincidencia de resonancia en la frecuencia de la armónica 13, lo que, si bien es de baja probabilidad en la realidad, muestra los riesgos de convivir con resonancias no controladas.

Para la condición de toda la carga en una SER las longitudes de cables son mucho mayores y la frecuencia de resonancia se desplaza hacia las armónicas de menor orden, 5 y 7, donde no existen fuentes en el caso los rectificadores de 12 pulsos. Lo anterior explica la reducción de distorsión para las condiciones degradadas sin filtros.

Para la condición normal con filtros sintonizados se reducen fuertemente los valores de distorsión en las tres SER.

6.1.5. Conclusiones Flujos de Carga Armónicas

Se confirma mediante las simulaciones de Flujo de Carga de Armónicas, la susceptibilidad de la red a las resonancias y que, en este caso, para la configuración habitual generarían una amplificación de las armónicas muy por encima de los límites de la normativa.

La inserción de filtros sintonizados en la 11^a, 13^a y un filtro pasa-altos permiten reducir los valores de THDi y HDi, de las corrientes inyectadas a la red de Alta Tensión, a valores acordes con las normas, tanto para la situación normal como degradada.

La necesidad de filtros sintonizados en las SER es válido en ambos estados de la línea, con y sin la extensión proyectada.

6.2. ESTUDIO DE CAPACIDAD Y UBICACIÓN ÓPTIMA DE LAS SET

El Estudio de Tracción permite calcular la cantidad, la ubicación y la potencia de las subestaciones de tracción (SET), incluida la extensión definida hasta la calle 100, que corresponde a un tramo de 3 km aproximadamente, en el que está proyectado implementar 3 estaciones de pasajeros.

La modelación y simulación de tracción se realiza con la información existente de la PLMB, donde están definidas en la Etapa 1 hasta la calle 72 la cantidad de 9 SET con su ubicación y potencia. Por consiguiente, el objetivo en este capítulo es presentar los resultados y las conclusiones de la simulación de tracción, incluida la extensión Etapa 2, con el propósito de definir la cantidad de la o las SET y su ubicación necesaria para cumplir con la normativa y mantener las condiciones de operación establecidas en la etapa de diseño.

6.2.1. Datos de entrada para la simulación de tracción

La cantidad y ubicación óptima de las SET de la extensión será determinada mediante un simulador de tracción que utiliza los siguientes datos de entrada:

- Características geométricas de la línea completa: pendientes, curvas, ubicación de estaciones
- Parámetros de operación: Intervalo de diseño hora de punta, tiempo de detención en estaciones, perfil de carga de pasajeros, tiempo de maniobra terminales.
- Parámetros de Material Rodante: Peso para distintas cargas de pasajeros, curvas esfuerzo tracción-frenado, eficiencia, consumos auxiliares, resistencia al avance.
- Parámetros Eléctricos: Resistencia de rieles y tercer riel, resistencia riel tierra, tensión en vacío y resistencia interna de los grupos transformador-rectificador.

6.2.2. Escenarios de Simulación de Tracción

La modelación y simulación se realizará sobre la línea completa incluida la extensión que comprenden las 19 estaciones y considerando inicialmente las 9 SET originales con la ubicación ya establecida, más una adicional en la extensión.

Los escenarios definidos para desarrollar son los siguientes:

Escenario N°1: Se mantiene la ubicación de las 9 SET y se incorpora una SET en la ubicación de la estación 18.

Escenario N°2: Se mantiene la ubicación de las 9 SET y se incorpora una SET en la ubicación de la estación 19, última estación para esta etapa.

Escenario N°3: Se mantiene la ubicación de 8 SET, la SET 9 se desplaza a la ubicación de la estación 17 y se incorpora una SET en la estación 19.

En el cuadro siguiente se presentan los escenarios:

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

Tabla 12 Escenarios de Simulación Tracción

Nombre Estaciones	Nomenclatura	Ubicación Estaciones (PK)	SET Originales	SET Con extensión		
				Escenario N°1	Escenario N°2	Escenario N°3
Cra 96	E1	2.202	1	1	1	1
Portal Américas	E2	3.525				
Carrera 80	E3	4.572	2	2	2	2
Calle 42 Sur	E4	5.675				
Kennedy	E5	6.670	3	3	3	3
Av. Boyacá	E6	7.929				
Av. 68	E7	9.710	4	4	4	4
Cra 50	E8	10.732				
NQS	E9	12.140	5	5	5	5
Nariño	E10	13.827				
Calle 1a	E11	15.097	6	6	6	6
Calle 10	E12	16.269				
Calle 26	E13	17.669	7	7	7	7
Calle 45	E14	19.725				
Calle 63	E15	21.733	8	8	8	8
Calle 72	E16	23.094	9	9	9	
Los Heroes	E17	24.050				9
Calle 92	E18	25.100		10		
Calle 100	E19	26.120			10	10

6.2.3. Resultados de la Simulación de tracción

Las simulaciones de tracción se realizan para la condición degradada con un grupo de las SET en servicio y de 100 segundos de intervalo y con los trenes a plena capacidad W06.

Los resultados deben respetar las siguientes normas:

- CEI 146 clase VI, Sobrecarga Transformadores y Rectificadores de Tracción
- EN 50163 Tensiones Redes Ferroviarias
- EN 50122 Tensión Riel Tierra

Los datos de salida de la simulación de tracción que se analizan, tomando como base las normas internacionales, corresponden a:

- Potencias y corrientes efectivas y medias.
- Tensiones instantáneas en Tercer Riel a lo largo de la Línea.
- Tensiones de tercer riel y las tensiones riel tierra a lo largo de la línea.

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

6.2.3.1. Escenario N°1 Resultados de la Simulación de Tracción

ESCENARIO N°1 POTENCIAS SET

En el cuadro y gráfico siguiente se presentan las Potencias efectivas y media de 1 minuto de las SET

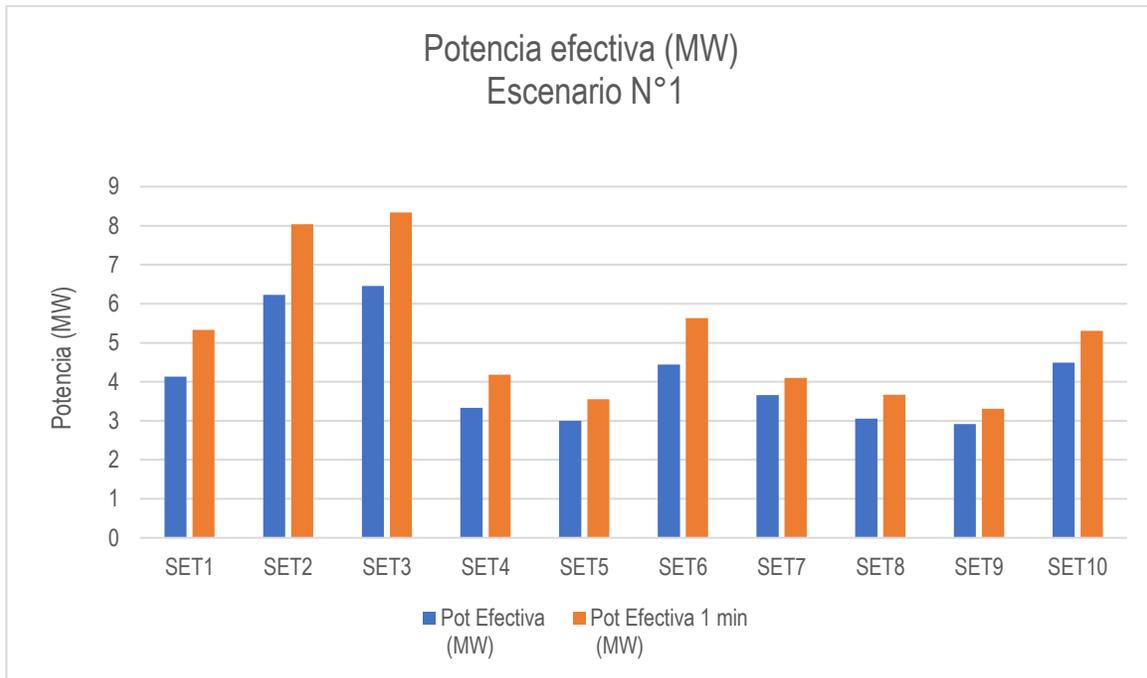
Tabla 13 Escenario N°1 Potencias SET

POTENCIAS (MW) ESCENARIO N°1		
Subestaciones Tracción	Pot Efectiva (MW)	Pot Efectiva 1 min (MW)
SET1	4,13	5,33
SET2	6,23	8,04
SET3	6,46	8,34
SET4	3,33	4,18
SET5	3,00	3,55
SET6	4,44	5,63
SET7	3,66	4,10
SET8	3,06	3,67
SET9	2,92	3,31
SET10	4,49	5,31
Potencia Total	41,72	

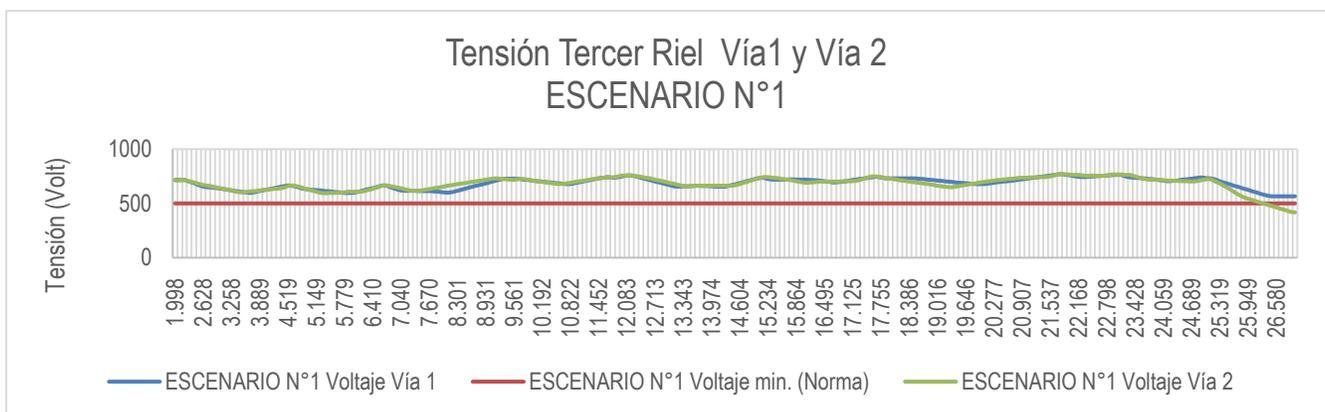
ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACI3N T3CNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSI3N DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACI3N EL3CTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

Gr3ficos 1 Escenario N31 Potencia efectiva



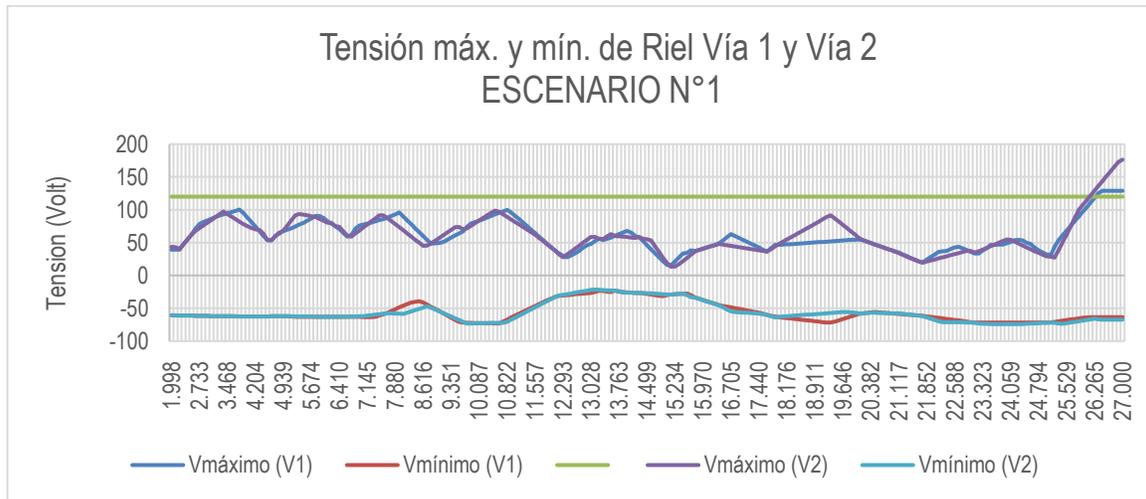
Gr3ficos 2 Escenario N31 Tensi3n Tercer Riel v3a 1 y v3a 2



ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

Gráficos 3 Escenario N°1 Tensión riel vía 1 y vía 2



ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACI3N T3CNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSI3N DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACI3N EL3CTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

6.2.3.2. Escenario N°2 Resultados de la Simulaci3n de tracci3n

ESCENARIO N°2 POTENCIAS SET

En el cuadro y gr3fico siguiente se presentan las Potencias efectivas y media de 1 minuto de las SET

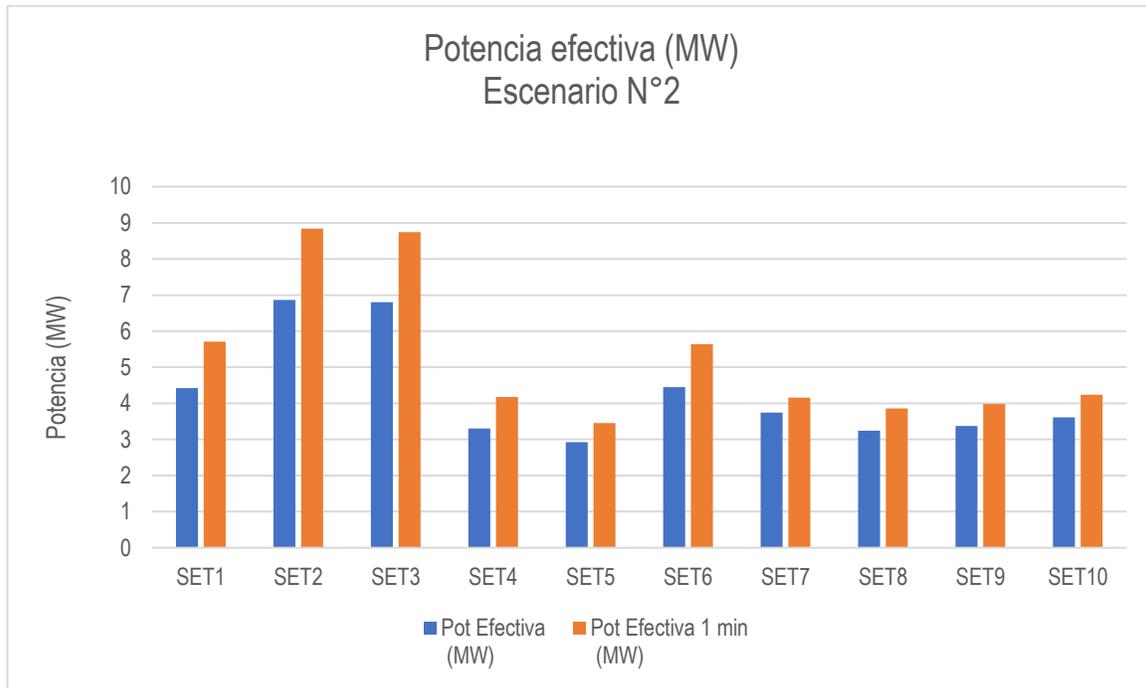
Tabla 14 Escenario N°2 Potencias SET

POTENCIAS (MW) ESCENARIO N°2		
Subestaciones Tracci3n	Pot Efectiva (MW)	Pot Efectiva 1 min (MW)
SET1	4,43	5,71
SET2	6,86	8,84
SET3	6,80	8,74
SET4	3,31	4,18
SET5	2,92	3,45
SET6	4,45	5,64
SET7	3,74	4,16
SET8	3,24	3,86
SET9	3,38	3,98
SET10	3,62	4,24
Potencia Total	42,74	

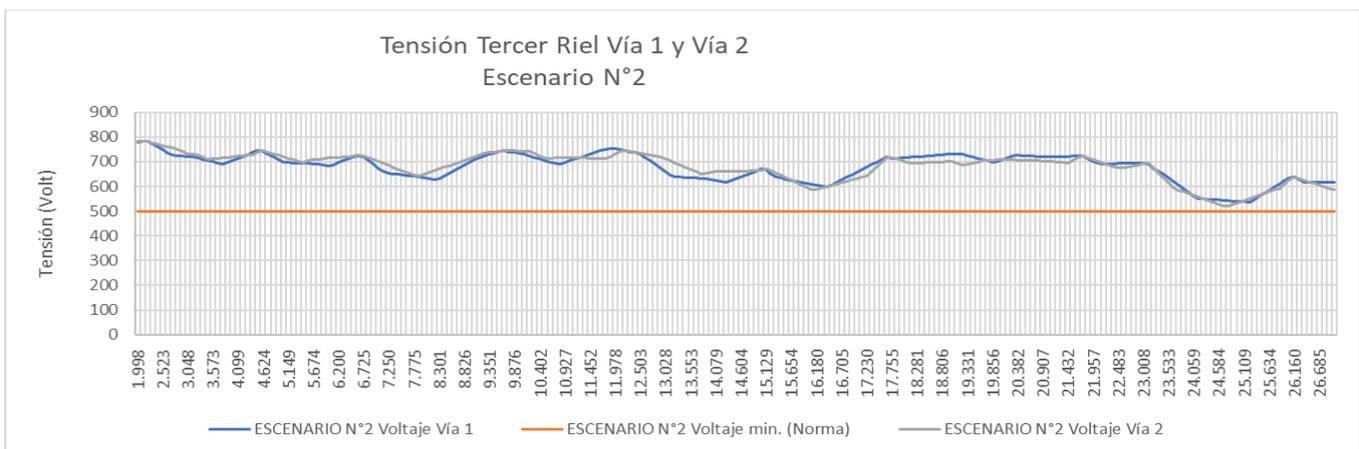
ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

Gráficos 4 Escenario N°2 Potencia Efectiva



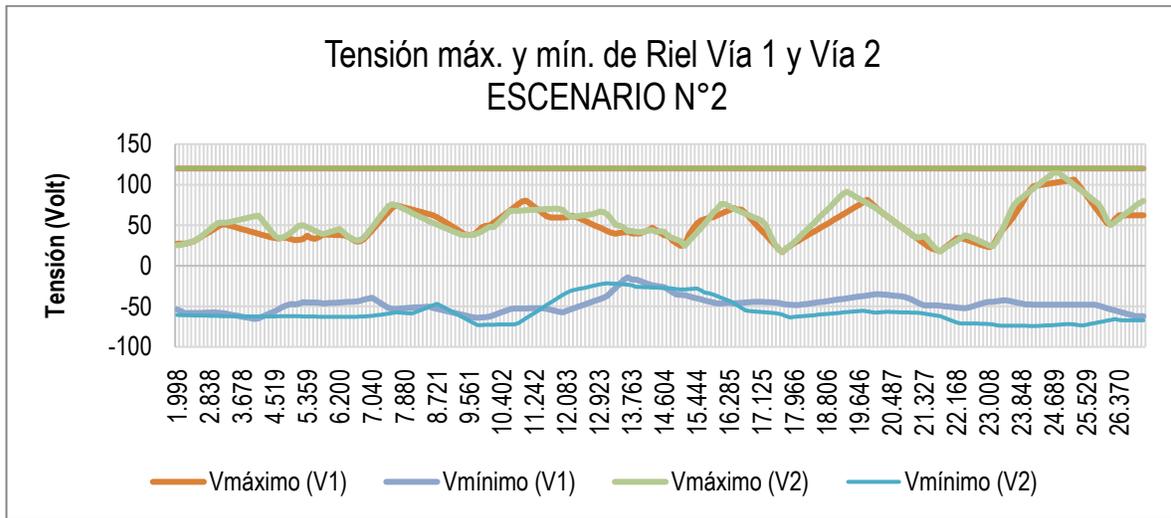
Gráficos 5 Escenario N°2 Tensión Tercer Riel vía 1 y vía 2



ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

Gráficos 6 Escenario N°2 Tensión riel vía 1 y vía 2



ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

6.2.3.3. Escenario N°3 Resultados de la Simulación de tracción

ESCENARIO N°3 POTENCIAS SET

En el cuadro y gráfico siguiente se presentan las Potencias efectivas y media de 1 minuto de las SET

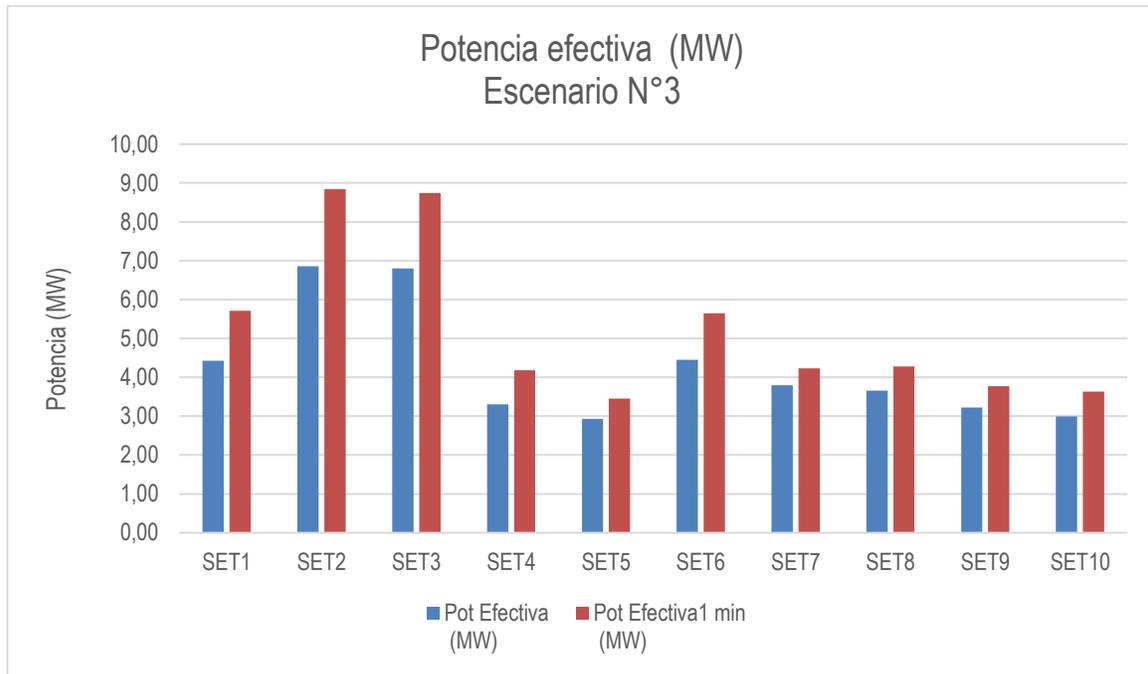
Tabla 15 Escenario N°3 Potencias SET

POTENCIAS (MW) ESCENARIO N°3		
Subestaciones Tracción	Pot Efectiva (MW)	Pot Efectiva1 min (MW)
SET1	4,43	5,71
SET2	6,86	8,84
SET3	6,80	8,74
SET4	3,31	4,18
SET5	2,93	3,45
SET6	4,45	5,65
SET7	3,80	4,23
SET8	3,66	4,28
SET9	3,22	3,77
SET10	3,00	3,63
Potencia Total	42,44	

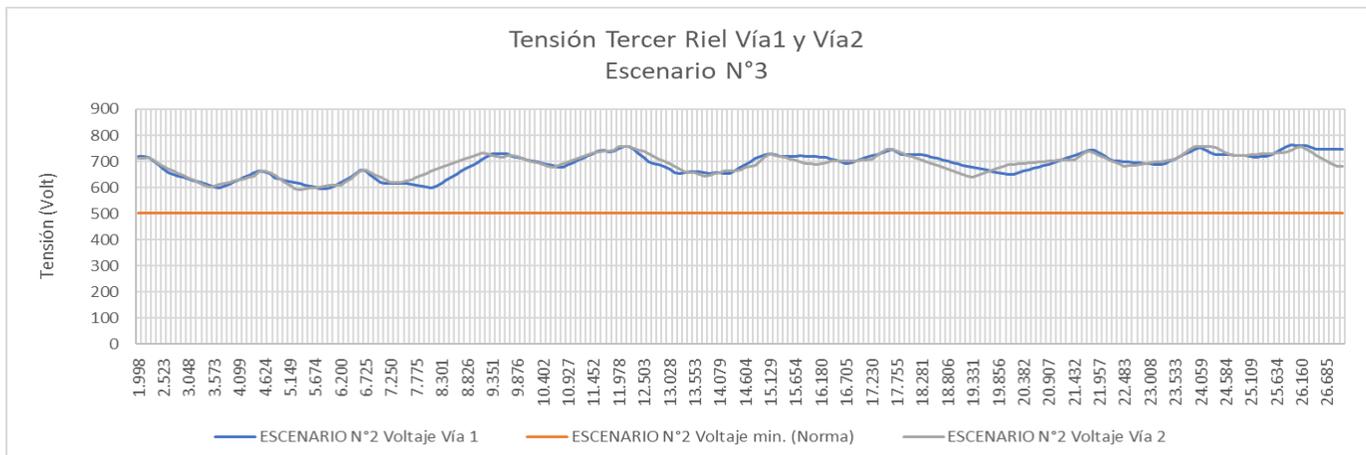
ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACI3N T3CNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSI3N DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACI3N EL3CTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

Gr3ficos 7 Escenario N3 Potencia efectiva



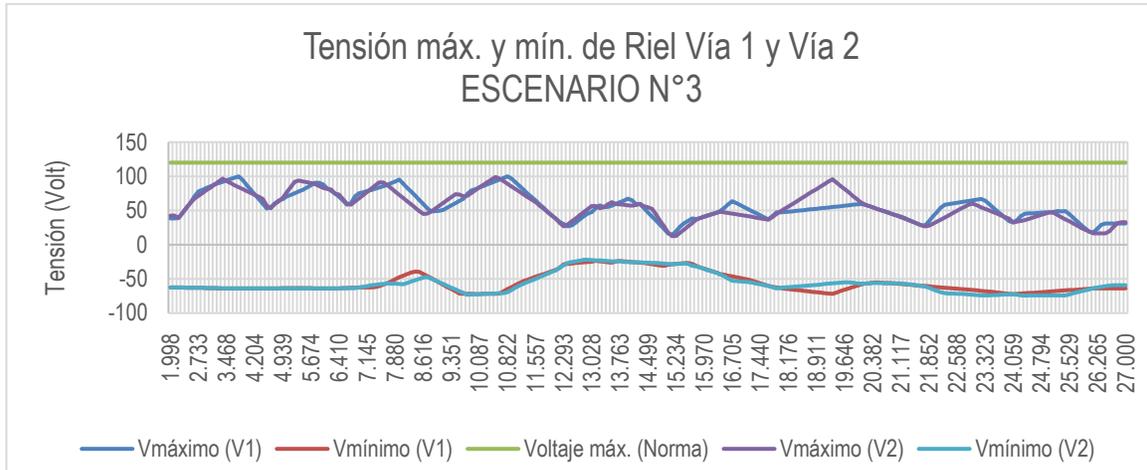
Gr3ficos 8 Escenario N3 Tensi3n Tercer Riel v1a 1 y v1a 2



ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

Gráficos 9 Escenario N°3 Voltaje riel vía 1 y vía 2



6.2.4. Análisis de los resultados y conclusiones simulación de tracción

Para el análisis de los resultados de la Simulación de Tracción se consideran los 3 escenarios descritos detalladamente en el punto 4.4.2.

La focalización del análisis de los resultados está en los tramos finales de la Línea, puesto que es en ese tramo donde existirán las modificaciones, debido a que lo de la primera etapa hasta la SET 8 no serán modificadas.

6.2.4.1. Análisis de Potencias

Al analizar los resultados de Potencias en los tres escenarios, se observa que las cargas Transformadores y en Rectificadores de Tracción están en rangos normales, puesto que los niveles de Potencia no superan los valores establecidos por la Norma CEI 146 clase VI, al considerar SET Trigrupos donde cada grupo es de 2500 KW.

6.2.4.2. Análisis de Tensión de Tercer Riel

Al analizar los resultados de tensión de Tercer Riel donde la Norma indica que el valor mínimo es 500 Voltios corriente continua (Vcc), en el escenario N°1 la tensión empieza a disminuir en el PK 25.100, además la tensión de vía 2 baja del límite de los 500 Voltios corriente continua (Vcc) en los últimos 400m. de la Línea.

En el Escenario N°2 las tensiones de Tercer Riel de vía 1 y vía 2 empiezan a disminuir del PK 24.000 alcanzando valores cercanos a los 500 Voltios corriente continua (Vcc) en un tramo de 1.500 m aproximadamente.

El Escenario N°3 presenta un nivel de tensión a lo largo de todo el recorrido de la Línea bastante estable, manteniendo el valor sin alteración en los tramos de la extensión.

6.2.4.3. Análisis de Tensión Riel -Tierra

Al analizar los resultados de tensión de Riel - Tierra, donde la norma EN 50122 indica que el valor máximo no debe superar los 120 Voltios corriente continua (Vcc) en el escenario N°1 a partir del PK 26.150 por vía 2 y PK 26.300 por vía 1 el nivel de tensión supera los 120 Voltios corriente continua (Vcc).

En el escenario N°2 el valor se mantiene por sobre los 100 Voltios corriente continua (Vcc) durante un kilómetro aproximadamente, en ambas vías, aunque no alcanza a superar el valor límite de 120 Voltios corriente continua (Vcc).

El escenario N°3 presenta un valor bastante estable y de condiciones ideales puesto que desde el PK 23.600 el valor es inferior a 50 Voltios corriente continua (Vcc) en ambas vías, inclusive en el tramo de la extensión que llega a valores de menos de 20 Voltios corriente continua (Vcc).

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

6.2.4.4. Conclusiones Estudio de Tracción

Analizados los 3 escenarios, considerando las potencias, el valor de tensión de las Tercer Riel y la tensión riel- tierra, el escenario que cumple con todos los requisitos establecidos en las normas es el escenario N°3, que corresponde a la recomendación de desplazar la SET 9 a la ubicación donde se emplazará la estación 17 y la SET 10 se instala en la estación terminal 19.

En cuanto a la capacidad de las SET, la solución de bigrupos estaría muy ajustada al requerimiento y adicionalmente existen factores que se deben considerar, tales como crecimientos futuros de la demanda de pasajeros o la extensión prevista para el 2050. Por lo anterior se recomienda la instalación inicial de bigrupos, dejando las reservas de espacio y conexiones eléctricas para un tercer grupo Transformador - Rectificador

De acuerdo al estudio, necesariamente se deben instalar SET en las estaciones 17 y 19, para satisfacer los límites aceptables de tensiones de tercer riel y riel tierra. Por consiguiente, se recomienda desplazar la SET proyectada de Calle 72 a la Estación Los Héroes, tal como se consideró en el escenario N°3, y de ese modo evitar el costo de la incorporación de una nueva SET al proyecto de extensión.

7. RESUMEN DEL ESTUDIO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA

7.1. CONCLUSIONES SISTEMA AT/MT

No es necesaria una cuarta SER para el sistema AT/MT, de acuerdo al análisis de resultados de los Estudios se concluye que para la condición normal de servicio la regulación de tensión es menor al 1% y que para los escenarios degradados n-2 más desfavorables, con alimentación eléctrica, ya sea solo de SER Chicalá o solo de SER Calle 67, la regulación de tensión se mantiene en rangos aceptables, tanto para cargas medias como instantáneas máximas

Es necesario la inserción en las barras de Media tensión de Filtros sintonizados en la 11ª, 13ª y un filtro pasa-altos permiten reducir los valores de THDi y HDi, de las corrientes inyectadas a la red de Alta Tensión, a valores acordes con las normas, tanto para la situación normal como degradada.

7.2. CONCLUSIONES SISTEMA DE TRACCIÓN

En consideración de las potencias, el valor de tensión de las Tercer Riel y la tensión riel- tierra, el escenario que cumple con todos los requisitos establecidos en las normas es el que corresponde a la recomendación de desplazar la SET 9 a la ubicación donde se emplazará la estación 17 y la SET 10 se debe instalar en la estación terminal 19.

7.3. REQUERIMIENTOS EN LA EXTENSIÓN A SER INCORPORADOS

Los equipos de vías de corriente continua deben ser instalados en la extensión de la PLMB a lo largo del tramo para asegurar la continuidad eléctrica de secciones eléctricas en explotación normal, servicios parciales y para aislar los mismos en trabajos de mantenimiento.

El contratista debe seguir la norma IEC 61992-3 Seccionadores de corriente continua, que define requisitos a respetar para los seccionadores en carga. Estos equipos deben ser de gabinete metálico montado al suelo y de concepción para el exterior. Los gabinetes deberán ser suministrados con todos los equipos de control local/ a distancia y de supervisión y relés presencia tensión de vía aguas arriba y aguas abajo.

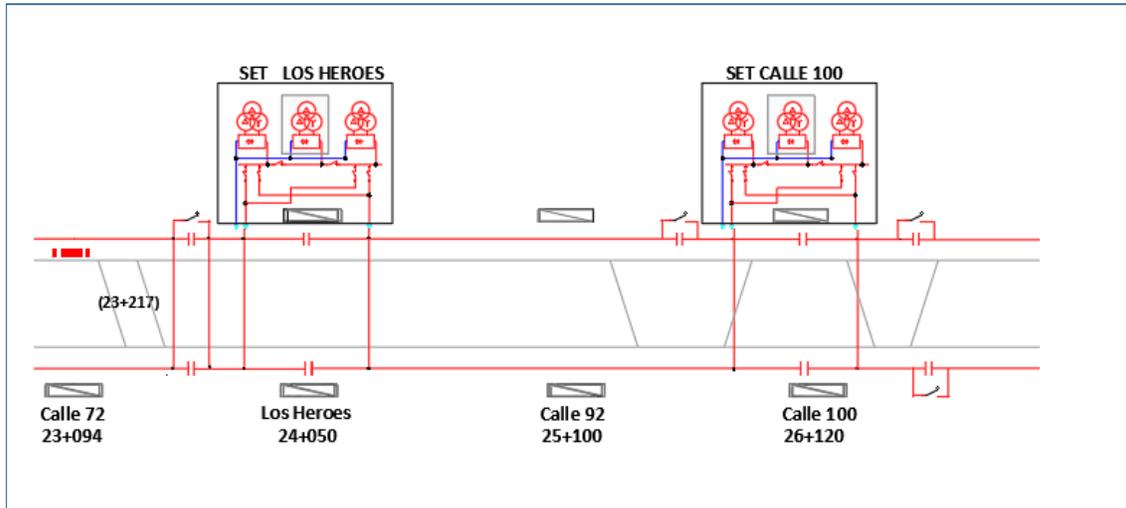
Se deben incorporar seccionadores de aislamiento, en base a lo definido en la zona de maniobra y operación de terminales (Referencia EPLMB-ELM-E5-POP-0001 - Plan de Operación Preliminar), estos seccionadores deben ser diseñados para soportar órdenes de cierre a plena carga, los que corresponden a los siguientes:

- 1 seccionador de maniobras de servicios parciales: Motorizados con mando a distancia
- 3 seccionadores de terminales: Motorizados con mando a distancia

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

Ilustración 3 SET 9 y 10 Estación Terminal Calle 100



ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

7.4. RESUMEN REQUERIMIENTOS DE SISTEMA ELÉCTRICO

Realizado el estudio del sistema eléctrico para la extensión de la PLMB, en el cuadro siguiente se presentan los ítems que se deberán incorporar para la definición de los costos del sistema eléctrico.

Tabla 16 Requerimientos Sistema Eléctrico

ITEM	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Especificación	Observaciones
1	Extensión cables Alimentadores 34,5 KV	km	3	Apéndice Técnico 8	2 Cables por circuito sección mínima 400 mm ² Cu
2	Extensión cables Anillos 34,5 KV	km	3	Apéndice Técnico 8	2 cables por circuito, sección mínima 300 mm ² Cu
3	Suministro CT estaciones	c/u	6	Apéndice Técnico 8	2 por estaciones Los Heroes y 2 por estación Calle 100 con salida barra Tracción
4	Suministro SET 9	c/u	1	Apéndice Técnico 8	Estación Los Héroes
5	Suministro SET 10	c/u	1	Apéndice Técnico 8	Estación Calle 100
6	Seccionadores Vías	c/u	4	Apéndice Técnico 8	Terminal Calle 100 y Cambios de Via
7	Limitadores de Tensión Tracción Vías	c/u	3	Apéndice Técnico 8	Cada Estación
8	Scada Energía	gl	1	Apéndice Técnico 8	Equipamiento estaciones y SET
9	Sistema Corte Centralizado Energía (CCE)	gl	1	Apéndice Técnico 8	Estaciones y SET
10	Cables 750 V	km	6,4	Apéndice Técnico 8	Capacidad a definir en Ingeniería de detalles

ACOMPañAR A LA EMB/FDN EN LAS ACTIVIDADES DE LA ESTRUCTURACI3N T3CNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSI3N DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100 CON AUTOPISTA NORTE

ENTREGABLE 8 - ALIMENTACI3N EL3CTRICA
EPLMB-EML-E8-ENE-0001_R0

ANEXO 1: AP3NDICE T3CNICO 8 - SECCI3N 2 - SISTEMAS DE ALIMENTACI3N DE ENERGIA EL3CTRICA



Ap3ndice T3cnico 8
- Secci3n 2 - Sistema

ANEXO 2: FLUJOS DE CARGA

Referirse al documento llamado "Anexo 2 – Flujos de carga" anexoado al presente documento.

ANEXO 3: FLUJOS DE ARM3NICAS

Referirse al documento llamado "Anexo 2 – Flujos de arm3nicas" anexoado al presente documento.